

DE4413378

Publication Title:

Appts. for coating substrate with material

Abstract:

Appts. for coating a substrate with a material produced when sputtering a target, where the target lies in a direct voltage superimposed on an alternating voltage, is claimed. The target material (3) is an ITO material having an oxygen deficit of more than 5%.

Data supplied from the esp@cenet database - <http://ep.espacenet.com>



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 44 13 378 A 1

51 Int. Cl.⁶:
C 23 C 14/35
C 04 B 35/00
C 04 B 35/50

21 Aktenzeichen: P 44 13 378.2
22 Anmeldetag: 19. 4. 94
43 Offenlegungstag: 26. 10. 95

DE 4413378 A1

71 Anmelder:
Leybold AG, 63450 Hanau, DE

74 Vertreter:
Schickedanz, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 63073
Offenbach

72 Erfinder:
Latz, Rudolf, Dr., 63110 Rodgau, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 41 24 471 C1
DE 40 37 733 A1

GEHMAN, B.L.;
et.al.: Influence of manufacturing process of indium
tin oxide sputtering targets on sputtering behavior.
In: Thin Solid Films, 220, 1992, S.333-336;
LEE, W.-K.;
et.al.: Low pressure and temperature deposition of

transparent conductive indium tin oxide (ITO) films
by the face target sputtering (FTS) process. In: Thin
Solid Films, 224, 1993, S.105-111;
LEE, S.B.;
et.al.: Electronic and optical properties of room
temperature sputter deposited indium tin oxide. In:
J. Vac. Sci. Technol. A, 11, (5), Sep/Oct 1993,
S.2742-2746;
JP Patents Abstracts of Japan: 3-44465 A,
C-830, May 9, 1991, Vol.15, No.181;
3-44464 A, C-830, May 9, 1991, Vol.15, No.181;

54 Einrichtung zum Beschichten eines Substrats

57 Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Beschichten
eines Substrats mit ITO-Schichten in einer Vakuumkammer.
Hierbei ist ein Target mit einer Magnetronkathode verbun-
den, die von einer Gleichspannung versorgt wird, die mit
einer Wechselspannung überlagert ist. Als Targetmaterial
wird ein ITO-Material verwendet, das ein Sauerstoffdefizit
zwischen 5% und 10% sowie einen Preßgrad von mehr als
90% hat. Während des Beschichtungs Vorgangs wird das
Substrat auf eine Temperatur von $T \geq 100^\circ\text{C}$ aufgeheizt.

DE 4413378 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Bei der Beschichtung von Substraten mit Hilfe der sogenannten Sputter- oder Zerstäubungstechnik wird an einer Elektrode ein Target aus einem bestimmten Material angeordnet und durch geladene Teilchen, z. B. Ionen, die mit großer Geschwindigkeit auf das Target auftreffen, zerstäubt. Die aufgrund dieser Zerstäubung entstandenen Target-Teilchen schlagen sich dann entweder direkt oder nachdem sie eine chemische Verbindung eingegangen sind, auf dem Substrat nieder.

Die Menge des sich auf einem Substrat niedergeschlagenen Materials hängt wesentlich von dem Targetmaterial selbst sowie von der angewandten Sputtertechnik ab. Besonders schwierig ist es, transparente und elektrisch leitende Schichten aus In-O, Sn-O, Cd-Sn-O oder Cd-In-O auf einem Substrat niederzuschlagen. Wegen ihres geringen elektrischen Widerstands werden insbesondere ITO-Materialien, d. h. auf In-O basierende Materialien mit einem geringen Zusatz von Sn, bevorzugt verwendet. ITO ist hierbei die Abkürzung für Indium Oxide. Gerade diese Materialien lassen sich jedoch nur unter besonderen Bedingungen in hohen Raten auf Substraten niederschlagen.

Es ist bereits eine Anordnung zum Beschichten eines Substrats mit Dielektrika bekannt, bei der ein Target zerstäubt wird, das an einer Spannung liegt, die sich aus einem Gleich- und einem Wechselspannungsteil zusammensetzt (DE-A 38 21 207). Hierbei beträgt der Leistungsanteil der Wechselspannung etwa 5% bis 25% des Leistungsanteils der Gleichspannung.

Weiterhin ist ein Verfahren für die Herstellung transparenter und elektrisch leitender Schichten bekannt, bei dem ein Target zerstäubt wird, auf dessen Oberfläche eine Magnetfeldstärke von 600 Oe oder mehr herrscht und wobei eine Gleichspannung an die Target-Elektrode gelegt ist, der eine Hochfrequenzspannung von 13,56 MHz überlagert ist (EP-A2-0 447 850).

Durch die Überlagerung der Gleichspannung mit einer Hochfrequenzspannung wird die Entladespannung des Plasmas erniedrigt. Um jedoch ITO-Schichten mit guter elektrischer Leitfähigkeit zu erzielen, muß die Temperatur des Substrats während des Beschichtungsvorgangs etwa 350°C betragen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Temperatur des Substrats bei der Beschichtung herabzusetzen und dennoch eine ITO-Schicht mit sehr kleinem spezifischem elektrischem Widerstand zu erhalten.

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Bei dem als Target verwendeten ITO-Material handelt es sich vorzugsweise um gepreßtes oder heiß isostatisch gepreßtes Material. Die Korngröße des Ausgangspulvers liegt typischerweise zwischen 5 und 20 Mikrometern.

Der mit der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, daß auch bei niedrigen Substrattemperaturen, z. B. bei 200°C, Schichten mit sehr geringen spezifischen Widerstandswerten, z. B. $\rho < 130 \mu\Omega\text{cm}$, erzielt werden. Selbst bei einer Substrattemperatur von nur 100°C ergeben sich noch gute ITO-Schichten. Die Erfindung kann überdies bei allen Sputteranlagen zum Einsatz kommen, d. h. sowohl bei In-Line-Anlagen als auch bei statischen Anlagen und bei Kathodenanlagen mit beliebiger geometrischer Struktur, die einen HF-Betrieb erlauben. Zudem ermöglicht es die Erfindung, An-

lagen zu bauen, mit denen große Flächen beschichtet werden können. Um bei hohen HF- und DC-Leistungen und damit hohen Abscheideraten in der Größenordnung von 2 nm/s noch einen stabilen Prozeß führen zu können, kommt eine Regelung zum Einsatz, die kleine Störungen in der Entladespannung wahrnimmt und bei Störungen oberhalb einer vorgebbaren Schwelle die DC-Leistung kurzfristig auf einen Ersatzverbraucher umschaltet.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Kathoden-Zerstäubungsanlage mit Spannungsregelung;

Fig. 2 eine grafische Darstellung der an einer Elektrode anliegenden Gleichspannung in Abhängigkeit von der Wechselspannungsleistung und dem Druck in der Zerstäubungskammer;

Fig. 3 eine grafische Darstellung des spezifischen Widerstands und des optischen Transmissionsgrads einer ITO-Schicht in Abhängigkeit vom O₂/Ar-Fluß während des Zerstäubungsvorgangs, wobei zwei verschiedene Technologien miteinander in Vergleich gesetzt sind;

Fig. 4 den Verlauf der vertikalen und horizontalen Magnetfeldkomponenten an der Targetoberfläche.

In der Fig. 1 ist ein Substrat 1 dargestellt, das mit einer dünnen ITO-Schicht 2 versehen werden soll. Diesem Substrat 1 liegt ein Target 3 gegenüber, das zu zerstäuben ist. Das Target 3, das aus einem ITO-Material mit einem Preßgrad von über 90% besteht und ein Sauerstoffdefizit von 5% bis 10% aufweist, steht mit einer Elektrode 4, 5 in Verbindung. Mit "Preßgrad" ist nichts anderes gemeint als die Dichte des Materials. Ein Preßgrad von z. B. 90% bedeutet, daß das Material eine Dichte hat, die 90% der theoretisch möglichen Dichte entspricht. Die Dichte kann durch Messung von Gewicht und Volumen bestimmt werden. Das Target 3 ist auf der Elektrode 4, 5 befestigt, der sogenannten Kathode, die den Querschnitt eines U hat. Ein Joch 6 ist in den U-förmigen Teil dieser Kathode 4, 5 eingesetzt. Zwischen diesem Joch 6 und dem Boden der U-förmigen Kathode sind Dauermagnete 7, 8, 9 angeordnet. Die auf das Target 3 gerichteten Polaritäten der drei Dauermagnete 7, 8, 9 wechseln sich ab, so daß jeweils die Südpole der beiden äußeren Dauermagnete 7, 9 mit dem Nordpol des mittleren Dauermagneten 8 ein etwa kreisbogenförmiges Magnetfeld durch das Target 3 bewirken. Dieses Magnetfeld verdichtet das Plasma vor dem Target 3, so daß es dort, wo die Magnetfelder das Maximum ihres Kreisbogens besitzen, seine größte Dichte hat. Die Ionen im Plasma werden durch ein elektrisches Feld beschleunigt, das sich aufgrund einer Gleichspannung aufbaut, die von einer Gleichstromquelle 10 abgegeben wird. Diese Gleichstromquelle 10 ist mit ihrem negativen Pol über eine Leitung 28, eine Einrichtung 40, welche Arcs erkennen und unterdrücken kann, sowie über Hochfrequenzfilter mit der Elektrode 5 verbunden. Dieses Hochfrequenzfilter besteht aus zwei Induktivitäten 11, 12 und zwei Kapazitäten 29, 32. Das Hochfrequenzfilter ist so ausgelegt, daß es Störungen im MHz-Bereich ausfiltert. Die Störungen aufgrund von Arc-Instabilitäten liegen jedoch bei niedrigeren Frequenzen und können deshalb das Filter passieren. Das durch die Gleichspannung erzeugte elektrische Feld steht senkrecht auf der Oberfläche des Targets 3 und beschleunigt die positiven Ionen des Plasmas in Richtung auf dieses Target 3. Hierdurch werden mehr oder weniger Atome oder Partikel aus dem Target 3 herausgeschlagen, und zwar ins-

besondere in den Bereichen 13, 14, wo die Magnetfelder ihre Maxima haben. Die zerstäubten Atome oder Partikel wandern aufgrund ihrer kinetischen Energie in Richtung auf das Substrat 1, wo sie sich als dünne Schicht 2 niederschlagen.

Das Plasma, aus dem die Ionen hervorgehen, welche auf das Target 3 auftreffen, um dort Targetpartikel loszuschlagen, wird in der Regel durch ein Edelgas gebildet, das von einem Behälter 16 über ein Absperrventil 18, eine Leitung 22, ein weiteres Steuerventil 42 und über eine Durchführung 21 in den Behälter 25 und von dort durch eine Öffnung 43 in einem zweiten Behälter 24 in den eigentlichen Plasmaraum 44 gelangt.

Das Target weist, wie bereits erwähnt, ein Sauerstoffdefizit auf. Sauerstoffdefizit bedeutet, daß das Material nicht vollständig oxidiert ist, was nach der chemischen Formel zu erwarten wäre. Die chemische Formel für Indiumoxid ist In_2O_3 , während diejenige für Zinnoxid SnO_2 lautet. Ein Sauerstoffdefizit kann mit Methoden der chemischen und physikalischen Analytik bestimmt werden (vgl. z. B. Jander/Blasius, Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie, 12. Auflage, 1985, S. 344 bis 347).

Soll auf dem Substrat 1 eine Oxidschicht 2 abgelagert werden, so wird aus einem weiteren Behälter 17 Sauerstoff oder ein Sauerstoff-Argon-Gemisch über ein Absperrventil 19 und ein Steuerventil 46 auf einen den unteren Kathodenteil einschließenden Gasspender 47 gegeben. Ein Dosierventil 45 im Leitungsteil 50 dient dazu, entweder die beiden Gassysteme voneinander zu trennen oder in einem weiten Bereich Gasmischungen für beide Gassysteme zu erlauben. Zwischen dem Gasspender 47 und den Bauelementen 3, 6, 7, 8, 9 ist noch eine Abschirmung 48 vorgesehen, die als Dunkelraumabschirmung wirkt, d. h. sie verhindert, daß im seitlichen Bereich der Kathode ein Plasma brennt. Der Sauerstoff verbindet sich im Plasmaraum 44 mit den Target-Atomen chemisch zu Molekülen und gelangt in Molekülform auf das Substrat 1. Die Ventile 18 und 19 sind die Absperr- und Dosierventile der jeweils zugeordneten Gasbehälter 16 bzw. 17. Als Dosierventile dienen sie dazu, Gasmischungen zu erzeugen. Das Ventil 42 erlaubt, das Gas zu dosieren, das in den unteren Bereich der Sputterkammer eingelassen wird.

Wird kein Oxid auf dem Substrat 1 abgeschieden, kann der Behälter 17 in gleicher Weise wie der Behälter 16 mit einem Edelgas, z. B. Argon, gefüllt sein.

Die von den Gasbehältern 16, 17 wegführenden Leitungen sind hinter den jeweiligen Steuerventilen 18, 19 durch die Leitung 50 und das Ventil 45 miteinander verbunden. Das Steuerventil 46 wird von einem Regler 51 gesteuert, der an der Elektrode 5 liegt. Mit dem Ventil 46 und dem Regler 51 wird der Fluß des Sauerstoffgemischs bzw. der Fluß des Sauerstoff/Argon-Gemischs derart geregelt, daß die Entladespannung konstant bzw. auf einem vorgebbaren Wert bleibt.

Beide Behälter 24, 25 und damit auch das Substrat 1, das auf dem Boden des Behälters 25 ruht, liegen elektrisch auf Masse. Auf Masse liegt auch der zweite Anschluß 27 der Gleichstromquelle 10 sowie ein Anschluß 36 einer Hochfrequenzquelle 30. Diese Hochfrequenzquelle 30 ist mit ihrem anderen Anschluß über ein Hochfrequenz-Abstimmfilter an die Elektrode 5 gelegt. Dieses Hochfrequenz-Abstimmfilter besteht aus den Kapazitäten 33, 34 und der Induktivität 35. Es dient als Anpassungsnetzwerk für die Hochfrequenzeinspeisung zur Kathode 5 und als Gleichstromsperre, so daß der Gleichstrom der Gleichstromquelle 10 nicht auf die

Wechselstromquelle 30 gelangen kann. Die Eingangsgröße für die Arc-Erkennung sowie für den Reaktivgasregler 51 ist die Kathodenspannung. Die Arc-Erkennung und der Reaktivgasregler können unabhängig voneinander arbeiten, da beiden eine eigene Reaktionscharakteristik vorgegeben ist.

Die Einzelheiten der Einrichtung 40 sind in der Fig. 1 nicht dargestellt, u. a. weil derartige Einrichtungen im Prinzip bereits bekannt sind (DE-A 41 27 504, DE-A 41 27 505). Im vorliegenden Fall enthält die Einrichtung 40 eine Umschalteneinrichtung, welche die Gleichspannung von dem Target auf einen nicht dargestellten Ersatzverbraucher umleitet. Bei diesem nicht dargestellten Ersatzverbraucher handelt es sich um einen elektrischen Kreis, der aus Widerständen und Kapazitäten besteht.

Mit der in der Fig. 1 dargestellten Anlage lassen sich Schichten 2 mit ausgezeichneten Eigenschaften herstellen. Die besten Resultate in Bezug auf den elektrischen Widerstand ergeben sich, wenn ein sogenannter heißer Prozeß gefahren wird, d. h. wenn die Substrate während der Beschichtung auf einer erhöhten Temperatur gehalten werden. Bei Substrattemperaturen von ca. 200°C erhält man bereits ITO-Schichten mit einer elektrischen Leitfähigkeit, wie sie bei den herkömmlichen Verfahren erst bei Temperaturen von 350°C erzielbar sind. Das Substrat 1 wird in der Regel von der Rückseite aus beheizt. Auch in großen vertikalen Sputteranlagen erfolgt die Beheizung über die Rückseite des Substrats, und zwar durch einen mittigen Schwertheizer. Die Temperatur des Substrats wird mittels eines Infrarotthermometers berührungslos gemessen.

Um bei hohen HF- und DC-Leistungen und damit bei hohen Abscheideraten von z. B. 2 nm/s noch einen stabilen Prozeß fahren zu können, wird in dem Gleichstromkreis nahe der Kathode 5 die bereits erwähnte Einrichtung 40 eingesetzt, die kleine Störungen in der Entladespannung wahrnimmt und bei Störungen oberhalb einer vorgebbaren Grenze die Gleichstromleistung für eine kurze Zeit, z. B. für einige Mikrosekunden, auf einen Ersatzverbraucher umschaltet. Dadurch gelangt auch der größte Teil der HF-Leistung nicht mehr auf die Kathode 5, weil aufgrund der Impedanzänderung des Plasmas der HF-Kreis 31, 33, 35 schlecht angepaßt ist. Die Leistung im Plasma wird dadurch so gering, daß auch die Störung verschwindet. Nach einer solchen Unterbrechung läuft der Prozeß normal weiter. Die HF-Versorgung 30 und die DC-Versorgung werden leistungsgeregelt betrieben.

In der Fig. 2 ist die an der Kathode 5 anliegende Gleichspannung U in Abhängigkeit von der HF-Leistung aufgetragen. Die von der Gleichspannungsquelle 10 abgegebene Gleichstromleistung ist hierbei konstant 270 Watt. Die Darstellung der Fig. 2 zeigt zwei Meßkurven, wobei die Meßkurve I bei einem Druck von 4,9 µbar in der Plasmakammer 44 und die Meßkurve II bei einem Druck von 1,6 µbar in der Plasmakammer 44 gemessen wurde.

Man erkennt hierbei, daß für beide Drücke gilt, daß bei größer werdendem HF-Leistungsanteil die Gleichspannung zurückgefahren werden kann, obwohl der Gleichstrom-Leistungsanteil nicht abnimmt. Da es sich bei der Gleichspannung U um die Entladespannung handelt, kann somit diese Entladespannung etwa um den Faktor 3 verringert werden.

In der Fig. 3 sind der spezifische elektrische Widerstand und der optische Transmissionsgrad einer erfindungsgemäß erzeugten ITO-Schicht dargestellt. Die linke Ordinate bezeichnet hierbei den Widerstand, wäh-

rend die rechte Ordinate den Transmissionsgrad bezeichnet. Auf der Abszisse ist der Fluß eines Gasgemischs dargestellt, das über die Leitung 22 in die Kammer 44 einströmt. Bei diesem Gasgemisch handelt es sich um ein solches mit 15 Teilen O₂ und 85 Teilen Ar.

Die Kurve in beziehung auf den optischen Transmissionsgrad einer 107 nm dicken ITO-Schicht, während sich die Kurve IV auf den spezifischen Widerstand bei der gleichen Schichtdicke bezieht.

Die Kurve V gilt für den spezifischen Widerstand einer 150 nm dicken ITO-Schicht, während die Kurve VI den optischen Transmissionsgrad bei gleicher Schichtdicke bezeichnet.

Alle Kurven gelten für eine Substrattemperatur von ca. 200°C.

Man erkennt aus der Darstellung der Fig. 3, daß der optische Transmissionsgrad, der durch die Kurven III und IV repräsentiert wird, mit zunehmendem Gasfluß größer wird. Dagegen nimmt der spezifische Widerstand, der durch die Kurven IV und V repräsentiert wird, mit zunehmendem Gasfluß ab.

Die Fig. 4 zeigt den Magnetfeldverlauf der vertikalen und horizontalen Komponente an der Targetoberfläche entlang einer Linie quer zur Kathode im mittleren Bereich der Kathode. Die Stärke des Magnetfelds ist von großer Wichtigkeit, denn die sehr niedrigen Entladespannungen lassen sich nur mit Magnetfeldern erreichen, die etwa eine Stärke haben, wie sie in der Fig. 4 dargestellt ist. Bei schwächeren Magnetfeldern steigt die Entladespannung entsprechend an. Um derart hohe Feldstärken zu erreichen, werden vorzugsweise Vaco-dym-Magnete eingesetzt.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Beschichten eines Substrats mit einem Material, das aufgrund der Zerstäubung eines Targets entsteht, wobei dieses Target an einer Gleichspannung liegt, der eine Wechselspannung überlagert ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Targetmaterial (3) ein ITO-Material mit einem Sauerstoffdefizit größer als 5% ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Sauerstoffdefizit zwischen 5% und 10% liegt.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das ITO-Material einen Preßgrad größer als 85% aufweist.
4. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das ITO-Material ein auf In-O basierendes Material mit einem geringen Zusatz von Sn-O ist.
5. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Preßgrad 95% beträgt.
6. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Zusatz von Sn-O zwischen 5% und 10% beträgt.
7. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Target (3) mit einer Magnetronkathode (4 bis 9) in Verbindung steht, die mit einer Spannungsquelle (10, 30) verbunden ist, welche den Gleichstrom mit überlagertem Wechselstrom liefert.
8. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zu beschichtende Substrat (1) während des Beschichtungsvorgangs aufgeheizt ist.
9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) zur Erreichung einer

guten elektrischen Leitfähigkeit auf eine Temperatur von ca. 200°C aufgeheizt ist.

10. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine steuerbare Schalteinrichtung (40) vorgesehen ist, welche bei Vorliegen von Überschlüssen die Gleichspannung für eine bestimmte Zeit von dem Target (3) wegnimmt.

11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung (40) eine Umschalteinrichtung ist, welche die Gleichspannung von dem Target auf einen Ersatzverbraucher umleitet.

12. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung von einer Einrichtung gesteuert wird, die Störungen in der Entladespannung feststellt und die Gleichspannung für einige Mikrosekunden von dem Target auf den Ersatzverbraucher schaltet.

13. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gleichstrom- und die HF-Versorgung leistungsgeregelt betrieben werden.

14. Einrichtung nach Anspruch 1 und Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Gleichspannung (U) über ein Hochfrequenzfilter (11, 12, 29, 32) dem Target (3) zugeführt ist und zwischen der Gleichstromquelle (10) und dem Target (3) die Schalteinrichtung (40) vorgesehen ist, welche die Gleichspannung für eine bestimmte Zeit vom Target (3) wegnimmt.

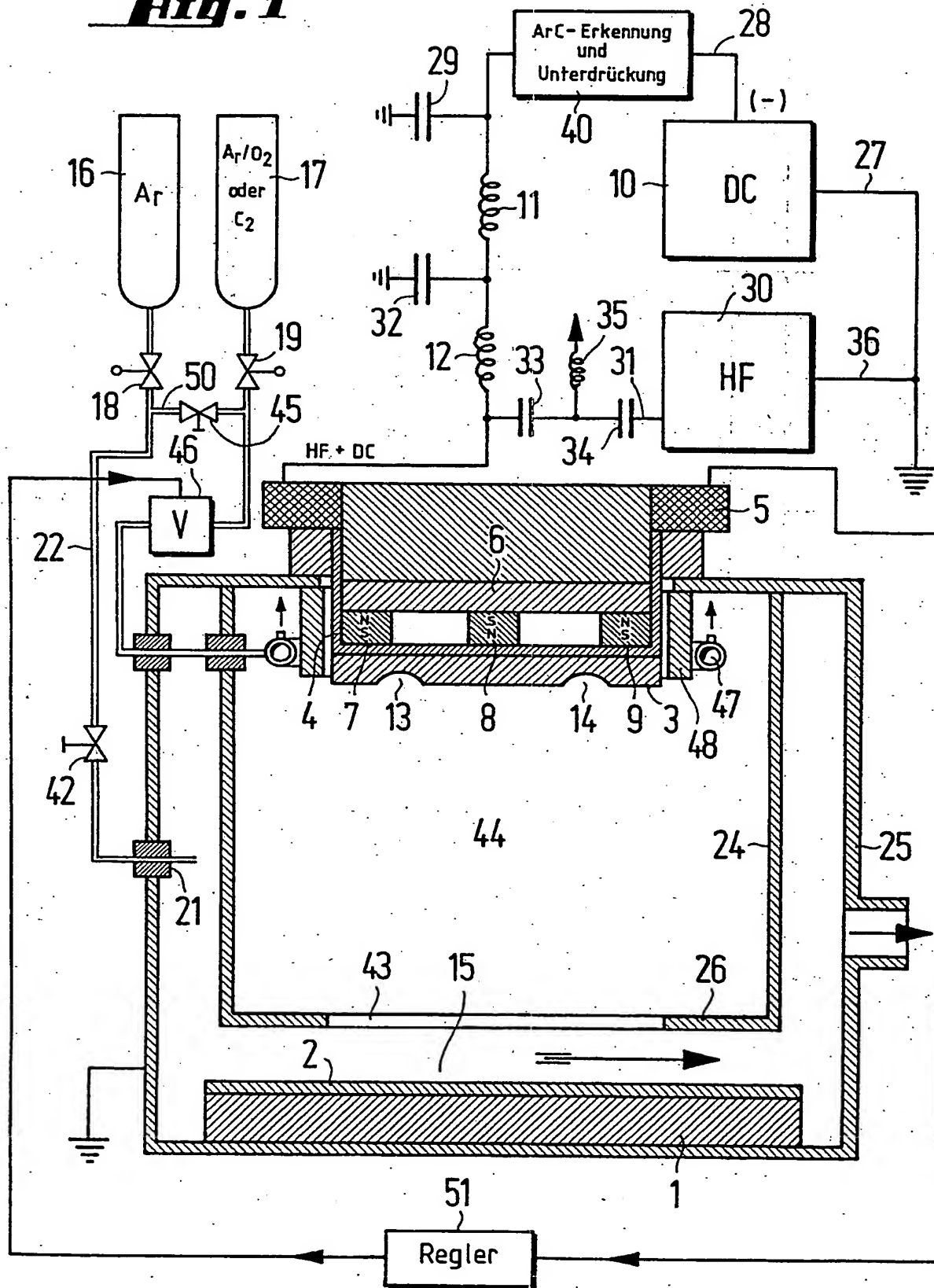
15. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich das Target (3) in einer Vakuumkammer (44) befindet, in die ein Gas oder Gasgemisch aus einem Behälter (16, 17) eingeleitet wird.

16. Einrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Gaszuführungsleitungen vorgesehen sind, von denen die eine, welche ein Regelventil (46) enthält, das Reaktivgas bzw. das Reaktivgasgemisch dem Prozeß zuführt.

17. Einrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die andere Leitung (23) dem Prozeß ein Arbeitsgas zuführt.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1



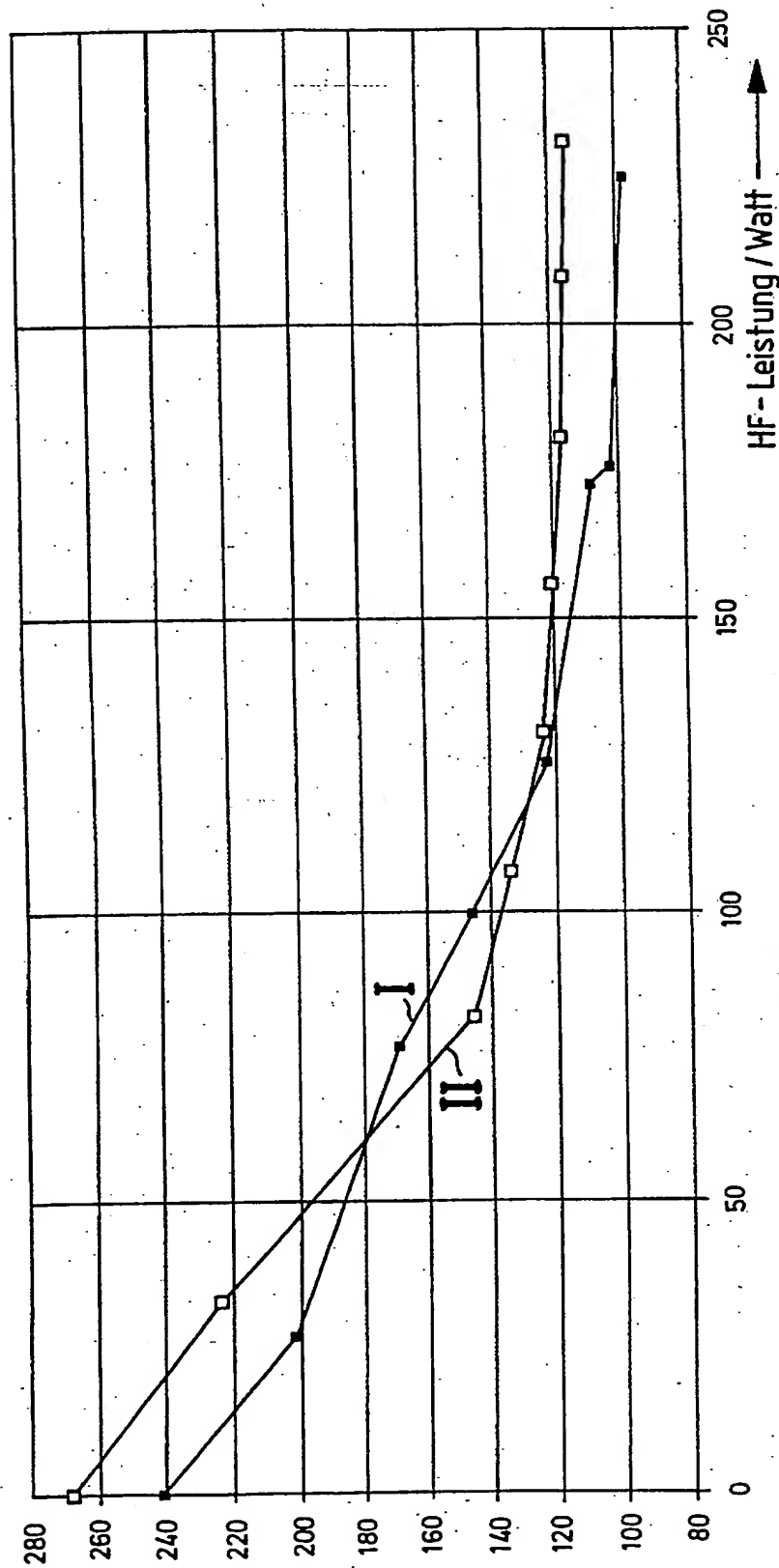


Fig. 2

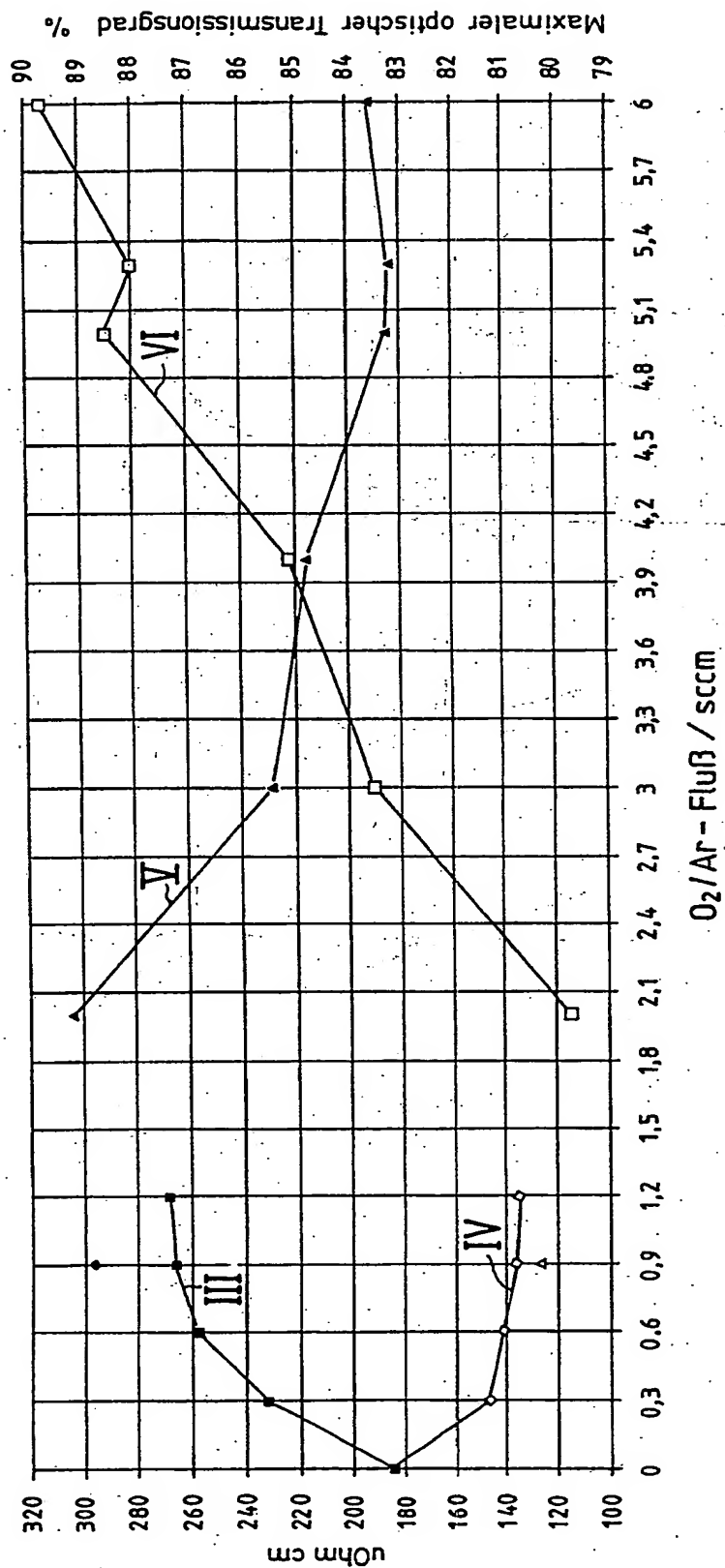
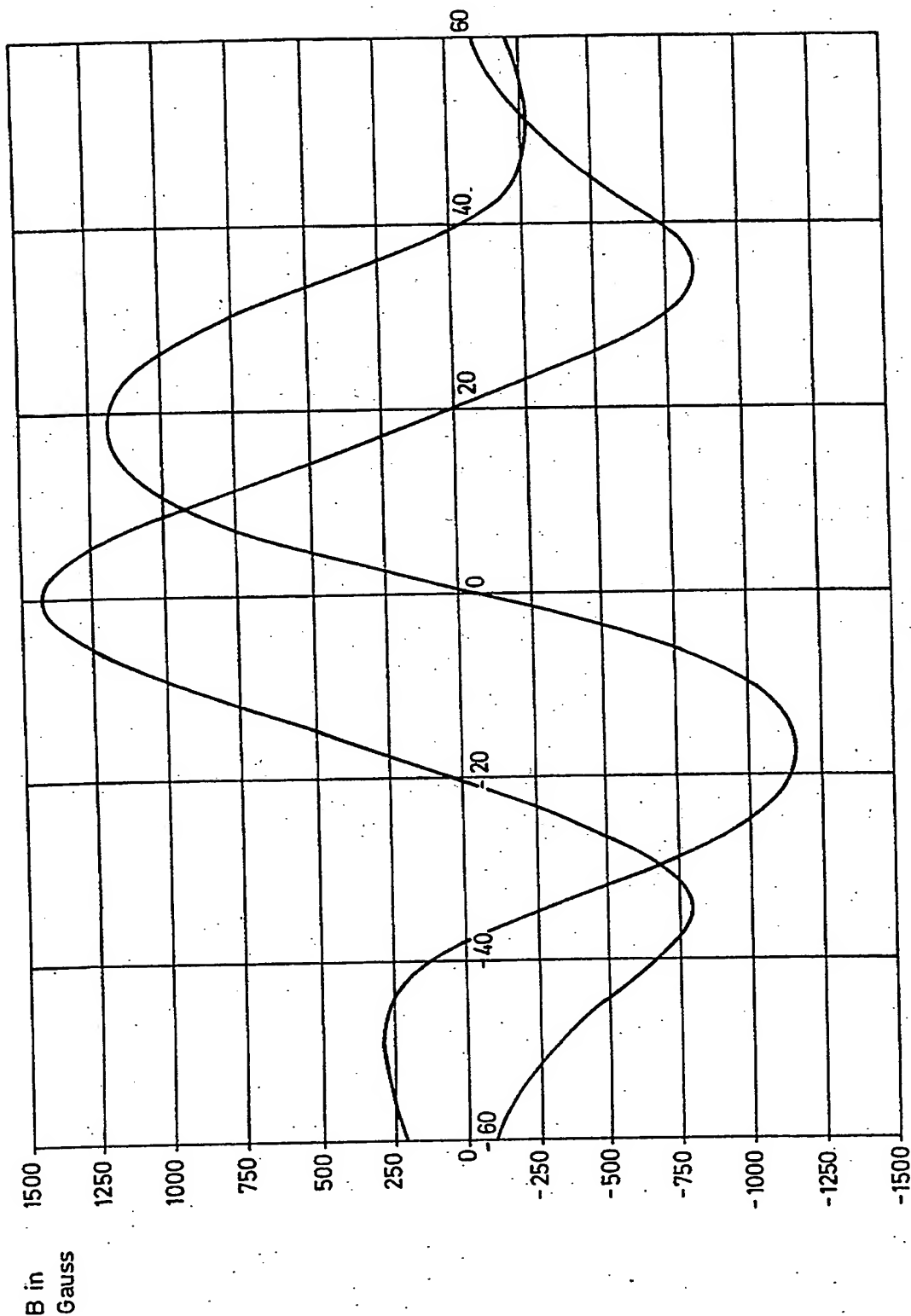


Fig. 3



Weg in mm

Fig. 4